

① BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 195 20 167 A 1

⑤ Int. Cl.<sup>8</sup>:  
G 01 S 7/497  
G 01 S 7/483  
G 01 S 17/08  
G 02 B 26/08  
// G 02 B 7/40

② Aktenzeichen: 195 20 167.1  
② Anmeldetag: 1. 6. 95  
③ Offenlegungstag: 5. 12. 96

DE 195 20 167 A 1

⑦ Anmelder:  
Erwin Sick GmbH Optik-Elektronik, 79183 Waldkirch,  
DE

⑦ Vertreter:  
Manitz, Finsterwald & Partner, 80538 München

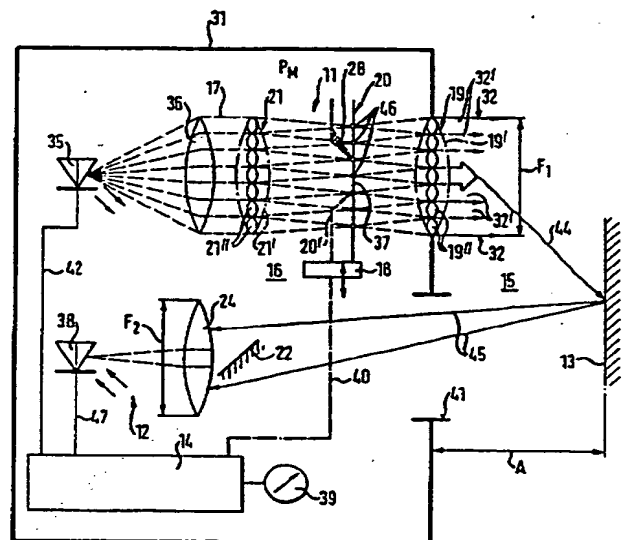
⑦ Erfinder:  
Blöhmaum, Frank, 79104 Freiburg, DE

⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 43 41 080 C1  
DE 41 09 844 C1  
DE 38 04 822 C1  
DE 32 19 452 C2  
DE 25 46 714 C2  
DE 40 08 394 A1  
DE 37 30 091 A1

⑤ Verfahren und Vorrichtung zur opto-elektronischen Entfernungsmessung nach dem Laufzeitverfahren

⑥ Ein opto-elektronisches Entfernungsmessgerät weist einen in einem Gehäuse (31) angeordneten Licht-Sender (11)-Empfänger (12) auf, der durch eine Frontlinseanordnung (18) Lichtimpulse zu einem Objekt (13) aussendet und die vom Objekt (13) reflektierten Lichtimpulse durch eine Empfangsfrontlinse (24) empfängt sowie mittels einer Steuerungs- und Auswertelektronik (14) aus der Differenz zwischen dem Zeitpunkt der Aussendung eines bestimmten Lichtimpulses und dem Zeitpunkt des Empfanges desselben Lichtimpulses nach Reflexion an dem Objekt (13) die Entfernung ermittelt. Um eine einfache Referenznahme und Intensitätssteuerung im Referenzstrahlengang zu erzielen, wird ein Sendelichtbündel (17) punktförmig auf eine optische Mikrostruktur (20) fokussiert, die durch eine elektromechanische Mikrobewegungsmechanik (18) mittels einer sprunghaften Veränderung von deren Steuerspannung zwischen einer Meßposition ( $M_P$ ) und einer Referenzposition ( $P_R$ ) schaltbar ist. Die optische Mikrostruktur (20) ist so aufgebaut, daß die Mikrobewegungsmechanik (18) in der Referenzposition ( $P_R$ ) durch Variation der sprunghaft veränderten Steuerspannung die von der optischen Mikrostruktur (20) durchgelassenen bzw. reflektierte Lichtmenge derart dämpfen kann, daß die in die Referenzstrecke (16) gelangende Lichtmenge gleich der von der Meßstrecke (15) kommenden Lichtmenge ist.



DE 195 20 167 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 96 602 049/281

13/27

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur opto-elektronischen Entfernungsmessung nach den Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 5.

Bekannte opto-elektronische Entfernungsmessgeräte (z. B. DE-OS 43 40 756) dieser Art arbeiten nach dem Laufzeitverfahren, was bedeutet, daß bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit der Strahlung (z. B. sichtbares Licht oder Infrarotstrahlung) mit der Bestimmung der Durchlaufzeit die Länge der Meßstrecke ermittelt werden kann. Unter Licht im Sinne der vorliegenden Erfindung ist auch Ultraviolett- und Infrarotstrahlung zu verstehen. Das Meßsignal erfährt auf der Meßstrecke eine Dämpfung, die je nach Entfernungsbereich und Reflektivität des anvisierten Objektes mehrere Größenordnungen betragen kann.

Der geforderten Zeitauflösung im Picosekundenbereich stehen Elektronikdurchlaufzeiten im Nanosekundenbereich gegenüber. Die absolute Größe der Laufzeit durch die beteiligten Elektronikkomponenten ändert sich mit der Temperatur und der Signaldynamik, die von der minimalen bzw. maximalen Streckendämpfung hervorgerufen wird. Es ist somit notwendig, die Durchlaufzeiten aller Komponenten bei gegebener Temperatur und meßstreckenbedingter Signaldämpfung exakt bestimmen zu können.

Es ist bereits bekannt, über eine bekannte, geräteinterne Referenzstrecke die Elektronikkomponente der Signallaufzeit zu bestimmen, und zwar insbesondere durch Umschalten zwischen einem Meß- und einem Referenzzweig über einen geschalteten optischen Weg und Regelung einer optischen Dämpfung. Dieses Korrekturprinzip ist jedoch aufwendig, da entweder mechanisch bewegte Teile eingesetzt werden müssen, wie z. B. Drehspiegel, Klappen und motorisch bewegte Graufilter bzw. Graukeile oder optische Modulatoren, die nach akusto- oder elektro-optischen Prinzipien aufgebaut sind. Die mechanischen Lösungen weisen lange Einschwingzeiten der Regelung auf, sind verschleißbehaftet und haben relativ große Abmessungen. Optische Modulatoren sind sowohl als diskretes wie auch als integriert optisches Bauteil sehr teuer und deshalb im industriellen Umfeld nicht gebräuchlich.

Die Berücksichtigung der Signallaufzeit in den Elektronikkomponenten ist auch durch Umschalten von Meß- auf Referenzzweig über das elektronische Umschalten getrennter Sende- oder Empfangsbaulemente und deren Aussteuerungsregelung auf meßstreckenabhängige Dämpfung möglich, doch besitzt dieses Verfahren den Nachteil, daß die am Referenzzweig beteiligten Bauelemente nicht mit denen des Meßzweiges identisch sind und so ein nicht identifizierbarer systematischer Fehler entsteht.

Das Ziel der Erfindung besteht somit darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Gattung zu schaffen, mit denen auf einfache Weise ein optisch geschalteter Referenzweg realisiert werden kann, dessen Dämpfung auf einfache und gut reproduzierbare Weise eingestellt werden kann, der sich durch kleine Abmessungen, Verschleißfreiheit und kostengünstige Fertigbarkeit auszeichnet und der betriebssicher arbeitet.

Zur Lösung dieser Aufgabe sind die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 1 oder 5 vorgehen.

Der Erfindungsgedanke ist also darin zu sehen, bekannte, als Strahlablenker wirkende und piezoelektrisch

beaufschlagbare Mikrostrukturen zu verwenden, die z. B. Mikrofresnellinsen und/oder Mikroprismen aufweisen. Diese sind von der Frauenhofer-Einrichtung für angewandte Optik und Feinmechanik in Jena entwickelt worden und werden als miniaturisierte Strahlablenksysteme bezeichnet. Diese Strahlablenksysteme weisen eingangsseitig ein Linsenarray auf, in dessen Brennebene mikrooptische Strukturen, je nach Anwendung z. B. Mikroblenden, Mikroprismen oder Mikrophasenplättchen angeordnet sind, welche parallel zur Schaltebene in ein oder zwei Richtungen mittels miniaturisierter Stелеlemente, insbesondere mittels eines piezoelektrischen Elementes im  $\mu\text{m}$ -Bereich verschiebbar sind. Das aus der optischen Mikrostruktur austretende Licht gelangt in ein weiteres Linsenarray, welches die auftretende Strahlung parallelisiert und in dieser Form in die Meßstrecke einführt. Durch Anlegen einer gesteuerten Steuerspannung an die Piezobewegungsmechanik kann das aus der mikrooptischen Struktur austretende Licht ganz oder teilweise um erhebliche Winkel von z. B. 30° abgelenkt werden, und zwar je nach Ausbildung der Mikrostruktur in Transmission oder Reflexion.

Die vorliegende Erfindung macht sich insbesondere diese miniaturisierten Strahlablenksysteme zunutze, um die für die Referenzmessung wesentliche Funktionen mit einem einzigen Bauelement erfüllen zu können, nämlich

- a) die sprunghafte Ablenkung des Sendelichtes aus der Meßstrecke in die Referenzstrecke und
- b) die definierte und reproduzierbare Dämpfung des in die Referenzstrecke gelangenden Lichtes entsprechend der Dämpfung, die das Sendelicht auf der Meßstrecke erfährt.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind durch die Unteransprüche gekennzeichnet.

Aufgrund der Ausbildung nach Anspruch 3 kann auf optische Schaltmittel im Bereich zwischen Sender und Empfänger verzichtet werden. Besonders zweckmäßig hierfür ist auch die Ausführung nach Anspruch 4, weil hierdurch ebenfalls ohne optische Schaltmittel der Meßstrahlengang und der Referenzstrahlengang zusammengeführt werden können.

Anspruch 6 definiert die Verwendung der an sich bekannten optischen Mikrostruktur, die aus einer Vielzahl von Einzelministrukturen besteht, die von Beleuchtungsminilinsen beaufschlagt sind und ihrerseits Frontminilinsen beaufschlagen. Die Minilinsen können zweckmäßigerweise als Mikrofresnellinsen ausgebildet sein.

Besonders vorteilhafte praktische Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind durch die Ansprüche 9 und 10 gekennzeichnet.

Zur Vermeidung optischer Umschaltmittel ist die Ausführung der Vorrichtung nach Anspruch 11 vorteilhaft.

Von besonderer Bedeutung sind die Querschnittsverhältnisse nach den Ansprüchen 12 bis 15, weil hierdurch insbesondere die bevorzugte geometrische Strahlvereinigung vor der Empfangsfrontlinse begünstigt wird.

Die für die Einkopplung des Referenzlichtbündels nach Anspruch 16 vorteilhaft verwendeten optischen Mittel nehmen somit nur einen vernachlässigbaren Teil der Querschnittsfläche der Empfangsfrontlinse ein und dämpfen daher den auf die Empfangsfrontlinse einfallenden Teil des Empfangslichtbündels nur in vernachlässigbarer Weise.

Die Erfindung wird im folgenden beispielsweise anhand der Zeichnung beschrieben; in dieser zeigt:

Fig. 1 eine teilweise geschnittene schematische Seitenansicht einer ersten Ausführungsform eines opto-elektronischen Entfernungsmessgerätes gemäß der Erfindung im Meßbetrieb,

Fig. 2 eine teilweise geschnittene Seitenansicht des gleichen opto-elektronischen Meßgerätes, jedoch im Referenznahmebetrieb,

Fig. 3 eine teilweise geschnittene Seitenansicht einer weiteren Ausführungsform eines opto-elektronischen Meßgerätes, wobei die optische Mikrostruktur im Meßbetrieb und eine der Einzelstrukturen im Referenzbetrieb wiedergegeben ist,

Fig. 4 eine vergrößerte und sehr schematische Schnittansicht einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäß verwendeten optischen Mikrostruktur und die

Fig. 5 bis 7 weitere Ausführungsformen von erfindungsgemäß verwendeten optischen Mikrostrukturen.

Nach Fig. 1 sind in einem Gehäuse 31 nebeneinander ein Lichtsender 11 und ein Lichtempfänger 12 angeordnet. Der Lichtsender besitzt eine Laserlichtquelle 35 sowie eine dahinter angeordnete Kondensorlinse 36, die ein parallelisiertes Sendelichtbündel 17 auf eine Beleuchtungslinseanordnung 21 richtet, die das aufgenommene parallele Licht punktförmig auf eine anschließend angeordnete optische Mikrostruktur 20 richtet. Von der Mikrostruktur 20 gelangt das Licht auf eine Frontlinseanordnung 19, die ein paralleles Sendelichtbündel 32 über eine Meßstrecke 15 zu einem im Abstand A vom Gehäuse 31 angeordneten Objekt 13 richtet, dessen Entfernung A vom Gehäuse 31 gemessen werden soll. Der Entfernung A ist in den Fig. 1 bis 3 aus zeichnerischen Gründen stark verkürzt dargestellt. Tatsächlich beträgt die Entfernung A mindestens einige Meter und kann bis zu einigen 100 m groß sein. Die das Sendelicht symbolisierende Linie 44 verläuft also tatsächlich praktisch in Richtung der optischen Achse der Frontlinseanordnung 19, d. h. in Richtung des in Fig. 1 angedeuteten parallelen Sendelichtbündels 32.

Das auf das Objekt 13 auftreffende Licht wird je nach dem Reflexionsgrad und der optischen Ausbildung der Oberfläche des Objektes 13 in mehr oder weniger gestreuter Form zum Gehäuse 31 zurückreflektiert, wodurch das reflektierte Licht zumindest teilweise in eine zum Empfänger 12 gehörende Empfangsfrontlinse 24 gelangt, die das Licht auf eine Empfangsphotodiode 38 konzentriert. Wegen der großen Entfernung A verlaufen die das Empfangslichtbündel symbolisierenden Linien 45 tatsächlich im wesentlichen parallel zum Sendelichtbündel 32.

Im einfachsten Fall bestehen die Frontlinseanordnung 19 und die Beleuchtungslinseanordnung 21 aus einer einzigen Frontmakrolinse 19' bzw. einer einzigen Beleuchtungsmakrolinse 21'. In diesem Fall wird das Sendelichtbündel 17 an einem einzigen Punkt auf der optischen Mikrostruktur 20 konzentriert. Im Sinne der Erfindung bevorzugt ist es jedoch, wenn die Frontlinseanordnung 19 und die Beleuchtungslinseanordnung 21 aus einer Vielzahl von Frontminilinsen 19'' bzw. Beleuchtungsminilinsen 21'' bestehen, welche unmittelbar nebeneinander angeordnet sind und in Draufsicht eine Art Wabenanordnung bilden.

Auf diese Weise bildet jede Beleuchtungsminilinse 21'' auf der Mikrostruktur 20 einen Lichtpunkt 46, von jedem von denen ein divergentes Lichtbündel zur Frontlinseanordnung 19 verläuft, welches durch die je-

weils zugeordnete Frontminilinse 19'' zu einem parallelen Teil-Sendelichtbündel 32' geformt wird. Sämtliche dieser Teil-Sendelichtbündel 32' bilden das Gesamt-Sendelichtbündel 32, welches über die Meßstrecke 15 zum Objekt 13 gelangt.

Die optische Mikrostruktur 20 ist mit einer neben dem Strahlengang angeordneten Piezo-Bewegungsmechanik 18 verbunden, welche die optische Mikrostruktur 20 in Richtung des Doppelpfeiles um einige  $\mu\text{m}$  in der einen oder anderen Richtung definiert verschieben kann. Die Piezo-Bewegungsmechanik 18 ist über eine strichpunktierter angedeutete Steuerleitung 40 mit einer Steuerungs- und Auswerteelektronik 14 verbunden, die über Leitungen 42, 47 die Laserlichtquelle 35 speist bzw.

von der Empfangsdiode 38 die Empfangs-Lichtimpulssignale empfängt. Aus dem zeitlichen Abstand eines Sendelichtimpulses und des zugehörigen Empfangslichtimpulses berechnet die Steuerungs- und Auswerteelektronik den Abstand A, welcher beispielsweise auf einer Anzeigevorrichtung 39 zur Anzeige gebracht werden kann.

Die erfindungsgemäße optische Mikrostruktur 20 ist nun so ausgebildet, daß sie durch die Piezo-Mechanik 18 in eine in Fig. 1 angedeutete Meßposition PM gebracht werden kann, in welcher das auftreffende Licht unabgelenkt und auch weitgehend ungedämpft durch die optische Mikrostruktur 20 hindurchgeht.

Wird die Piezo-Bewegungsmechanik 18 über die Steuerleitung 40 mit einer geeigneten Spannung beaufschlagt, bewegt sie die optische Mikrostruktur 20 in eine in Fig. 2 angedeutete Referenzposition PR, in welcher das auftreffende Licht durch Reflexion als Referenzlichtbündel 33 über eine Meßstrecke 16 direkt zur Empfangsfrontlinse 24 geschickt wird, wo es über einen zentral vor der Empfangsfrontlinse 24 angeordneten Umlenkspiegel 22 parallel zur optischen Achse der Empfangsfrontlinse 24 in diese eingespiegelt wird und so auf der Empfangsdiode 38 konzentriert wird.

Sofern nur eine Sendefrontmakrolinse 19' und eine Beleuchtungsmakrolinse 21' verwendet wird, weist die optische Mikrostruktur 20 nur eine in den Fig. 1 und 2 stark vergrößert wiedergegebene Einzelstruktur 20' auf, welche in der Meßposition PM das auf einem planparallelen transparenten Bereich 37 auftreffende Licht nach Fig. 1 weitgehend ungedämpft und auf jeden Fall unabgelenkt durchläßt und in der Referenzposition PR das durch Reflexion an einem nur wenige  $\mu\text{m}$  neben dem Bereich 37 befindlichen reflektierenden Bereich 28 gespiegelte Licht nach Fig. 2 in die Referenzstrecke 16 gelangen läßt.

Werden in der erfindungsgemäß bevorzugten Weise für die Frontlinseanordnung 19 Frontminilinsen 19'' und für die Beleuchtungslinseanordnung 21 Beleuchtungsminilinsen 21'' verwendet, besteht die optische Mikrostruktur 20 aus einer entsprechenden Vielzahl von wabenartig angeordneten Einzelministrukturen 20', von denen jeweils eine einem der Linsenpaare 19''/21'' zugeordnet ist. Das Referenzlichtbündel 33 besteht somit aus einer Vielzahl nebeneinander und parallel zueinander angeordneter Einzelbündel. Beim Ausführungsbeispiel nach den Fig. 1 und 2 bewirkt also die optische Mikrostruktur 20 in der Referenzposition PR (Fig. 2) eine Reflexion des auftreffenden Lichtes aus dem Sendelichtstrahlengang heraus auf die Referenzstrecke 16.

Nach Fig. 1 und 2 besteht die Referenzstrecke 16 aus einem optischen Weg innerhalb des Gehäuses 31, welcher von der jeweiligen Einzelministruktur 20' gegebenfalls über Zwischenspiegel oder Zwischenprismen

zu einem Umlenkspiegel 22 führt, welcher zentral vor der Empfangsfrontlinse 24 angeordnet ist und das über die Referenzstrecke 16 gehende Referenzlichtbündel 33 entlang der optischen Achse in die Empfangsfrontlinse 24 einkoppelt (Fig. 2). Der Querschnitt des Referenzlichtbündels 33 und die Ausdehnung des Umlenkspiegels 22 sind deutlich kleiner als die Fläche der Empfangsfrontlinse 24.

Nach Fig. 3 wird in der Referenzposition PR das durch die Einzelministrukturen 20' der optischen Mikrostruktur 20 im Gegensatz zu Fig. 2 nicht reflektierte, sondern abgelenkte Licht außerhalb des Sendestrahlanganges von einer Lichtleitfaser-Eintrittsoptik 43 aufgenommen und über eine im Gehäuse 31 verlegte Lichtleitfaseranordnung 23 zu einer Lichtleitfaser-Austrittsoptik 34 geleitet, die statt des Umlenkspiegels 22 nach Fig. 1, 2 im Zentrum der Empfangsfrontlinse 24 vor dieser angeordnet ist und das Licht entlang der optischen Achse in den Empfänger 12 einkoppelt. Die Lichtleitfaseranordnung 23 mit den Optiken 34 und 43 bildet die Referenzstrecke 16. Die Lichtleitfaser-Eintrittsoptik 43 empfängt das abgelenkte Licht sämtlicher Einzelministrukturen 20', sofern die optische Mikrostruktur 20 aufgrund einer geeigneten Steuerspannung an der Piezobewegungsmechanik 18 die Referenzposition PR einnimmt, in welcher das Licht komplett aus dem Sendestrahlangang abgelenkt wird. Auch hier beträgt die Fläche der Lichtleitfaser-Austrittsoptik 34 nur einen Bruchteil der Fläche der Empfangsfrontlinse 24, so daß noch eine ausreichend große Fläche der Empfangsfrontlinse 24 für die Aufnahme des Lichtes aus der Meßstrecke 15 zur Verfügung steht.

Fig. 4 zeigt rein schematisch und beispielsweise eine optische Mikrostruktur 20 mit drei nebeneinanderliegenden Einzelministrukturen 20', die jeweils einen planparallelen durchlässigen Bereich 37 aufweisen, durch den in der Meßposition PM das konvergierende Sendelichtbündel 17' ohne Ablenkung durchgelassen wird, wodurch ein divergierendes Lichtbündel 17'' auf der anderen Seite der optischen Mikrostruktur 20 entsteht, das jeweils in die zugeordnete Frontminilnse 19'' (Fig. 1) eintritt, um von dieser parallelisiert zu werden.

Wird nun mittels der in Fig. 4 nur schematisch angedeuteten Piezobewegungsmechanik 18 die optische Mikrostruktur 20 um ein Stück von wenigen  $\mu\text{m}$  in Richtung des Pfeiles verschoben, so gelangen in den Bereich der konvergierenden Sendelichtbündel 17' transparente Prismen 25 mit einer konkav gekrümmten Lichtauftriebsfläche 26, auf welche die konvergierenden Sendelichtbündel 17' auftreffen.

Sobald der Anfang der Prismen 25 in die Sendelichtbündel 17' eingetreten ist, wird das auftreffende Licht unter einem Winkel von z. B.  $30^\circ$  abgelenkt, so daß ein abgelenktes divergierendes Sendelichtbündel 17''' entsteht. Während der Übergang der Sendelichtbündel 17' aus den planparallelen Bereichen 32 vom Beginn der Prismen 25 durch einen sprunghaften Anstieg der Steuerspannung an der Piezobewegungsmechanik 18 erzielt wird, kann nach dem ersten Auftreffen der Sendelichtbündel 17' auf die Lichtauftriebsfläche 26 die Steuerspannung an der Piezobewegungsmechanik 18 stetig weiter gesteigert werden, wodurch die Prismen 25 mehr und mehr in das Sendelichtbündel 17' hineinverschoben werden, so daß immer steiler angestellte Bereiche der Lichtauftriebsfläche 26 in den Strahlengang gelangen und der Ablenkungswinkel des austretenden divergierenden Sendelichtbündels 17''' stetig zunimmt.

Die abgelenkten Sendelichtbündel 17''' gelangen auf

die Referenzstrecke 16, wobei beispielsweise die Ablenkung durch den ersten Bereich der Lichtauftriebsfläche 26 die volle Lichtintensität auf die Referenzstrecke 16 gelangen läßt, während bei zunehmender Verschiebung der Prismen 25 in das Sendestrahlbündel 17' die Ablenkung zunimmt und dadurch das Licht mehr und mehr aus dem Referenzstrahlengang 16 herausgelenkt wird. Auf diese Weise kann durch Anlegen einer geeigneten Steuerspannung an die Piezobewegungsmechanik 18 eine stetige Einstellung der Dämpfung des am Ende der Referenzstrecke 16 ankommenden Referenzlichtbündels 33 herbeigeführt werden.

Grundsätzlich könnte es sich bei den gekrümmten Lichtauftriebsflächen 26 auch um Hohlspiegel handeln, die das Licht je nach Stellung der Prismen 25 mehr oder weniger abgelenkt spiegelnd reflektieren, wodurch es ebenfalls mehr oder weniger in einen entsprechend angeordneten Referenzstrahlengang 16 gelenkt werden kann.

Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 sind Prismen 27 mit ebenen Lichtauftriebsflächen 28 vorgesehen, wobei die aufeinanderfolgenden Prismen 27 am Anfang mit zunächst schmalen, dann zunehmend breiteren Ausblendbereichen 29 versehen sind. Auf diese Weise wird beim Auftreffen der konvergierenden Lichtsendebündel 17' auf den Anfang der ebenen Lichtauftriebsflächen 28 nach sprunghaftem Anstieg der Steuerspannung an der Piezo-Mechanik 18 zunächst überhaupt kein Licht von der optischen Mikrostruktur 20 durchgelassen. Bei einer weiteren Erhöhung der Steuerspannung an der Piezobewegungsmechanik 18 verschiebt sich die optische Mikrostruktur 20 stetig weiter in Richtung des Pfeiles in Fig. 5, worauf zunächst der sich an den Ausblendbereich 29 anschließende transparente Bereich des linken Prismas 27 in das konvergierende Sendelichtbündel 17' eintritt, so daß an dieser Stelle ein einzelnes durchgelassenes und abgelenktes Sendelichtbündel 17''' entsteht.

Bei weiterer Verschiebung gelangt dann schließlich auch der Transparentbereich des mittleren Prismas 27 in das zugeordnete konvergierende Sendelichtbündel 17', so daß dann zwei abgelenkte Einzel-Ablenkungsendelichtbündel 17''' vorliegen. Schließlich wird bei weiterer Verschiebung der Mikrostruktur 20 in Richtung des Pfeiles auch das in Fig. 5 rechte Sendelichtbündel 17' den transparenten Bereich des zugeordneten Prismas 27 erreichen, worauf dann drei abgelenkte Sendelichtbündel 17''' zur Verfügung stehen. Alle Sendelichtbündel 17''' gelangen dann Fall voll in den Referenzstrahlengang 16. Durch eine mehr oder weniger große Steuerspannung und damit Verschiebung der optischen Mikrostruktur 20 in Richtung des Pfeiles in Fig. 5 kann somit die Dämpfung des über die Referenzstrecke 16 gehenden Lichtes digital genau eingestellt werden.

Fig. 6 zeigt eine ähnliche Ausführungsform, bei der die Ausblendbereiche 29 gerade umgekehrt wie in Fig. 5 angeordnet sind, so daß bei der ersten sprunghaften Verschiebung der optischen Mikrostruktur 20 zunächst das gesamte Sendelicht 17' als abgelenktes Lichtbündel 17''' in den Referenzstrahlengang 16 gelangt. Bei zunehmender Verschiebung wird zunächst das rechte Sendelichtbündel 17' in Fig. 6, dann das mittlere und erst am Schluß das linke Sendelichtbündel 17' durch den jeweils zugeordneten Ausblendbereich 29 am Eintritt in den Referenzstrahlengang 16 gehindert. Auf diese Weise ist ebenfalls eine genaue digitale Einstellung der Dämpfung des in die Referenzstrecke 16 gelangenden Referenzlichtbündels 33 möglich, indem die Steuerspannung an der Piezo-Bewegungsmechanik 18 auf eine die ge-

wünschte Verschiebung der Mikrostruktur 20 hervorru-  
fenden Werte eingestellt wird.

Fig. 7 veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Prismen als Graukeil 30 ausgebildet sind, so daß nach dem Eintreten des Anfangs der Prismen 27 in die Sendelichtbündel 17' die Intensität des Austritts-Sendelichtbündels 17'' verschiebungsabhängig stetig je nach der Richtung der Steigung des Graukeils 30 zunimmt oder abnimmt, wodurch die in die Referenzstrecke 16 gelangende Lichtintensität analog exakt auf einen Wert eingestellt werden kann, der die Intensität des von der Meßstrecke 15 kommenden Lichtes entspricht. Nach Fig. 7 nimmt die Lichtdurchlässigkeit der Prismen 27 von recht nach links zu.

Die betreffende Einstellung kann von der Steuerungs- und Auswertelektronik 14 automatisch vorgenommen werden, indem sie über die von der Meßstrecke 15 aus in die Empfangsfrontlinse 24 eintretende Lichtmenge mißt und im Referenzbetrieb durch geeignete Steuerung der Piezo-Bewegungsmechanik 18 die aus dem Referenzstrahlengang 16 austretende Lichtintensität entsprechend einstellt.

Die Intervalle, an deren Ende jeweils eine Referenznahme stattfindet, sind davon abhängig zu machen, mit welchen Änderungen der Laufzeiten der elektrischen Signale in der Elektronik gerechnet werden muß. Die größte Genauigkeit wird erzielt, wenn vor jeder Messung durch Referenznahme die Impulslaufzeit in der Elektronik festgestellt und bei der unmittelbar anschließenden Messung eliminiert wird.

Jede optische Mikrostruktur 20 besteht vorzugsweise aus einem Array von einigen hundert Einzelministrukturen 20'. Entsprechend viele zugeordnete Frontminilinsen 19'' und Beleuchtungsminilinsen 21'' sind vorgesehen. Da der Durchmesser jeder Einzelministruktur 20' bzw. jeder Frontminilinsen 19'' und Beleuchtungsminilinsen 21'' im  $\mu\text{m}$ -Bereich liegt, ergibt sich so ein Querschnitt  $F_1$  des Lichtsendebündels 32 von einigen  $\text{mm}^2$ , z. B.  $5 \text{ mm}^2$ .

Die Empfangsfrontlinse 24 weist gegenüber der Frontlinsenordnung 19 einen wesentlich größeren Durchmesser von maximal 4 cm auf. Die Querschnittsfläche  $F_2$  des von der Meßstrecke 15 in sie eintretenden Empfangslichtbündels liegt daher z. B. bei 10 bis  $50 \text{ cm}^2$ . Dies ergibt z. B. ein Verhältnis der Flächen von Referenzlichtbündel 33 und Empfangsfrontlinse 24 von 1 : 1000.

Die kleine Querschnittsfläche  $F_1$  des Sendelichtbündels 32 ist aufgrund der Verwendung einer Laserlichtquelle 35 möglich. Die Querschnittsfläche  $F_2$  der Empfangsfrontlinse 24 muß demgegenüber um zwei bis drei Größenordnungen oder um noch mehr größer sein, um der Tatsache Rechnung zu tragen, daß vom Objekt 13 reflektiertes Sendelicht nur zu einem geringen Bruchteil in den Empfang gelangt und das Referenzlichtbündel 33 daher nicht zuviel Fläche beanspruchen darf.

#### Bezugszeichenliste

- 11 Lichtsender
- 12 Lichtempfänger
- 13 Objekt
- 14 Steuerungs- und Auswertelektronik
- 15 Meßstrecke
- 16 Referenzstrecke
- 17 Sendelicht
- 18 Mikrobewegungsmechanik
- 19 Frontlinsenordnung

- 19' Frontmakrolinse
- 19'' Frontminilinsen
- 20 optische Mikrostruktur
- 20' Einzelministruktur
- 21 Beleuchtungslinsenordnung
- 21' Beleuchtungsmakrolinse
- 21'' Beleuchtungsminilinsen
- 22 Spiegel
- 23 Lichtleitfaseranordnung
- 24 Empfangsfrontlinse
- 25 Prisma
- 26 gekrümmte Lichtauftrefffläche
- 27 Prisma
- 28 reflektierender Bereich
- 29 Ausblendbereich
- 30 Graukeil
- 31 Gehäuse
- 32 Sendelichtbündel
- 33 Referenzlichtbündel
- 34 Lichtleitfaser-Austrittsoptik
- 35 Laserlichtquelle
- 36 Kondensor
- 37 planparalleler Bereich
- 38 Empfangsphotodiode
- 39 Anzeigevorrichtung
- 40 Steuerleitung
- 41 Eintrittsöffnung
- 42 Leitung
- 43 Lichtleitfaser-Eintrittsoptik
- 44 Sendelichtlinie
- 45 Empfangslichtlinie
- 46 Lichtpunkt
- 47 Leitung.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur opto-elektronischen Entfernungsmessung nach dem Laufzeitverfahren mit einem opto-elektronischen Entfernungsmessgerät, welches einen in einem Gehäuse (31) angeordneten Licht-Sender (11)-Empfänger (12) aufweist, der durch eine Frontlinsenordnung (19) Lichtimpulse zu einem Objekt (13) aussendet und die vom Objekt (13) reflektierten Lichtimpulse durch eine Empfangsfrontlinse (24) empfängt sowie mittels einer Steuerungs- und Auswertelektronik (14) aus der Differenz zwischen dem Zeitpunkt der Aussendung eines bestimmten Lichtimpulses und dem Zeitpunkt des Empfanges desselben Lichtimpulses nach Reflexion an dem Objekt (13) die Entfernung ermittelt, wobei zur Eliminierung des Einflusses der Durchlaufzeiten der Lichtimpulse durch die Steuerungs- und Auswertelektronik (14) in mehr oder weniger großen Zeitabständen wenigstens ein Sendelichtimpuls über eine statt der Meßstrecke (15) zwischen Licht-Sender (11) und Licht-Empfänger (12) geschaltete, vorzugsweise innerhalb des Gehäuses (31) verlaufende Referenzstrecke (16) bekannter Länge geleitet wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein Sendelichtbündel (17) punktförmig auf eine optische Mikrostruktur (20) fokussiert wird, die durch eine elektro-mechanische Mikrobewegungsmechanik (18), wie eine elektrostriktive oder magnetostruktive, z. B. eine Piezobewegungsmechanik, mittels einer sprunghaften Veränderung von deren Steuerspannung zwischen einer Meßposition ( $M_p$ ), wo das durch sie hindurchgehende Licht über die Frontlinsenordnung (19) auf die

Meßstrecke (15) gelangt, und einer Referenzposition ( $P_R$ ), wo das durch sie hindurchgehende Licht so abgelenkt wird, daß es auf die Referenzstrecke (16) gelangt, schaltbar ist, und daß die optische Mikrostruktur (20) so aufgebaut ist, daß die Mikrobewegungsmechanik (18) in der Referenzposition ( $P_R$ ) durch Variation der sprunghaft veränderten Steuerspannung die von der optischen Mikrostruktur (20) durchgelassene bzw. reflektierte Lichtmenge derart dämpfen kann, daß die in der Referenzstrecke (16) gelangende Lichtmenge zumindest im wesentlichen gleich der von der Meßstrecke (15) kommenden Lichtmenge ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrostruktur (20) das auftreffende Licht in der Meßposition ( $P_M$ ) vollständig oder allenfalls geringfügig gedämpft durchläßt und in der Referenzposition ( $P_R$ ) aus dem Sendestrahengang herausreflektiert oder -ablenkt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das in der Referenzposition ( $P_R$ ) reflektierte bzw. abgelenkte Sendelicht über Spiegel (22) und/oder Prismen und/oder eine Leitfaseranordnung (23, 34, 43) zur Empfangsfrontlinse (24) geleitet wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das über die Referenzstrecke (16) gelaufene Lichtbündel (33) durch physikalische oder vorzugsweise geometrische Strahlvereinigung in den Empfänger (12) eingeleitet wird.

5. Nach dem Laufzeitverfahren arbeitendes optoelektronisches Entfernungsmeßgerät, welches einen in einem Gehäuse (31) angeordneten Licht-Sender (11)-Empfänger (12) aufweist, der durch eine Frontlinsen-anordnung (19) Lichtimpulse zu einem Objekt (13) aussendet und die vom Objekt (13) reflektierten Lichtimpulse durch eine Empfangsfrontlinse (24) empfängt sowie mittels einer Steuerungs- und Auswertelektronik (14) aus der Differenz zwischen dem Zeitpunkt der Aussendung eines bestimmten Lichtimpulses und dem Zeitpunkt des Empfanges desselben Lichtimpulses nach Reflexion an dem Objekt (13) die Entfernung ermittelt, wobei zur Eliminierung des Einflusses der Durchlaufzeiten der Lichtimpulse durch die Steuerungs- und Auswertelektronik (14) in mehr oder weniger großen Zeitabständen wenigstens ein Sendelichtimpuls über eine statt der Meßstrecke (15) zwischen Licht-Sender (11) und Licht-Empfänger (12) geschaltete, vorzugsweise innerhalb des Gehäuses (31) verlaufende Referenzstrecke (16) bekannter Länge geleitet wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein Sendelichtbündel (17) punktförmig auf eine optische Mikrostruktur (20) fokussiert ist, die durch eine elektro-mechanische Mikrobewegungsmechanik (18), wie eine elektrostrikative oder magnetostrikative, z. B. eine Piezobewegungsmechanik, mittels einer sprunghaften Veränderung von deren Steuerspannung zwischen einer Meßposition ( $M_P$ ), wo das durch sie hindurchgehende Licht über die Frontlinsen-anordnung (19) auf die Meßstrecke (15) gelangt, und einer Referenzposition ( $P_R$ ), wo das durch sie hindurchgehende Licht so abgelenkt wird, daß es auf die Referenzstrecke (16) gelangt, schaltbar ist, und daß die optische Mikrostruktur (20) so aufgebaut ist, daß die Mikrobewegungsmechanik (18) in der Referenzposition ( $P_R$ ) durch Va-

riation der sprunghaft veränderten Steuerspannung die von der optischen Mikrostruktur (20) durchgelassene bzw. reflektierte Lichtmenge derart dämpfen kann, daß die in der Referenzstrecke (16) gelangende Lichtmenge zumindest im wesentlichen gleich der von der Meßstrecke (15) kommenden Lichtmenge ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Mikrostruktur (20) aus einer Vielzahl von vorzugsweise nach einem kartesischen oder Polar-Koordinatensystem nebeneinander und/oder übereinander angeordneten, gleichen Einzelministrukturen (20') besteht, welche jeweils von durch eine nur einer Einzelministruktur (20') zugeordnete lichtquellenseitige Beleuchtungsminilins (21') punktförmig fokussierten Licht beaufschlagt sind und das in der Meßposition ( $P_M$ ) durchgelassene Licht zwecks Parallelisierung zu einer zugeordneten Frontminilins (19') lenken, wobei die Gesamtheit und aller Frontminilinsen (19') und aller Beleuchtungsminilinsen (21') eine wabenartige Frontlinsen-anordnung (19) bzw. Beleuchtungs-linsen-anordnung (21) bilden.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelministrukturen (20') so ausgebildet sind, daß sie das auftreffende Licht in der Meßposition ( $P_M$ ) vollständig oder allenfalls geringfügig gedämpft durchlassen und in der Referenzposition ( $P_R$ ) aus dem Sendestrahengang herausreflektieren oder -ablenken.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß Spiegel (22) und/oder Prismen und/oder Lichtleitfasern (23) vorgesehen sind, um das in der Referenzposition ( $P_R$ ) reflektierte bzw. abgelenkte Sendelicht zur Empfangsfrontlinse (24) zu leiten.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß jede Einzelministruktur aufweist:

- planparallele Bereiche (32) zur unabgelenkten und möglichst wenig gedämpften Lichtdurchlassung sowie unmittelbar daneben
- Licht abgelenkt reflektierende oder durchlassende Bereiche (25, 26; 27, 28) mit in Abhängigkeit von der Steuerspannung die Menge des über die Referenzstrecke (16) zum Lichtempfänger (12) gelangenden Lichtes reduzierenden Mitteln (26, 29, 30).

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Licht abgelenkt reflektierenden oder durchlassenden Bereiche mit in Abhängigkeit von der Steuerspannung die Menge des über die Referenzstrecke (16) zum Lichtempfänger (12) gelangenden Lichtes reduzierenden Mitteln gebildet sind durch

- Prismen (25, 27) oder Reflektoren mit
- gekrümmten Lichtauftreffflächen (26) oder
- ebenen Lichtauftreffflächen (28) und
- vorzugsweise von Einzelministruktur zu Einzelministruktur größer oder kleiner werdenden lichtabsorbierenden Ausblende-bereichen (29) oder
- Graukeilausbildung (30).

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Empfangsfrontlinse (24) physikalische oder vorzugsweise geometrische Strahlvereinigungsmittel (22, 34) vorgesehen sind, mittels denen das über die Referenz-

strecke (16) gelaufene Lichtbündel (33) Empfang der optischen Achse in die Empfangsfrontlinse (24) eingekoppelt wird.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnittsfläche des aus der Frontlinsenordnung (19) austretenden Sendelichtbündels (32) deutlich geringer als die Querschnittsfläche der Empfangsfrontlinse (24) ist. 5

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Querschnittsfläche des aus der Frontlinsenordnung (19) austretenden Sendelichtbündels (32) und der Querschnittsfläche der Empfangsfrontlinse (24) sich mindestens wie 1 : 10, vorzugsweise mindestens wie 1 : 100 und bevorzugt zwischen 1 : 100 und 1 : 1000, insbesondere etwa 1 : 500 verhält. 10 15

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das auf die Empfangsfrontlinse (24) auftreffende Referenzlichtbündel (33) eine deutlich geringere Querschnittsfläche als die Empfangsfrontlinse (24) hat und vorzugsweise zentral in die Empfangsfrontlinse (24) eingekoppelt wird. 20

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Querschnittsfläche des auf die Empfangsfrontlinse (24) auftreffenden Referenzlichtbündels (33) und der Empfangsfrontlinse (24) sich mindestens wie 1 : 10, vorzugsweise mindestens wie 1 : 100 und bevorzugt zwischen 1 : 100 und 1 : 1000, insbesondere etwa 1 : 500 verhält. 25 30

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Einkopplung des Referenzlichtbündels (33) in die Empfangsfrontlinse (24) durch einen Spiegel (22) oder eine Lichtleiter-Austrittsoptik (34) erfolgt, deren Querschnittsfläche dem in die Empfangsfrontlinse (24) eintretenden Referenzlichtbündel (33) entspricht. 35

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -



FIG. 1

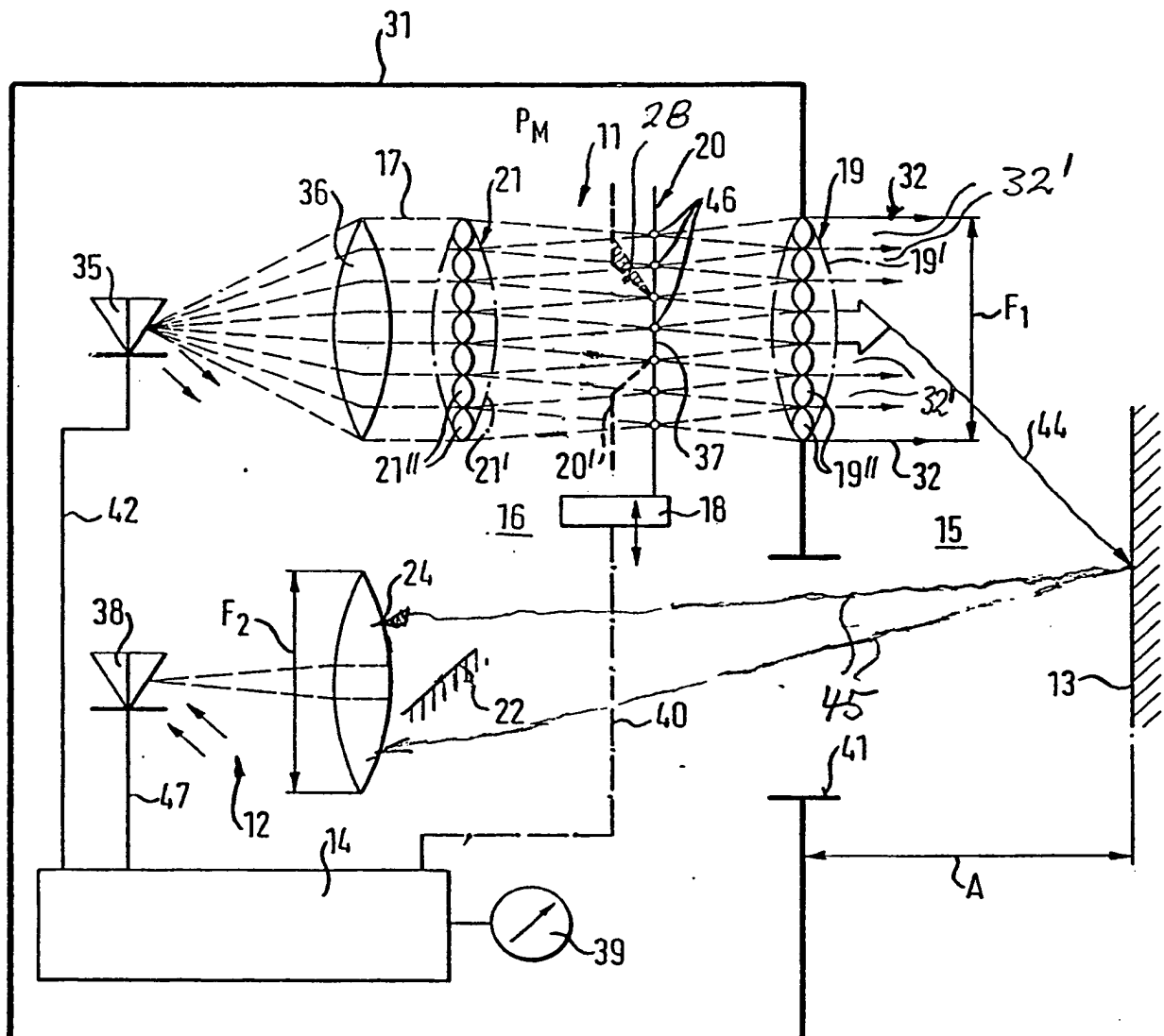


FIG. 2

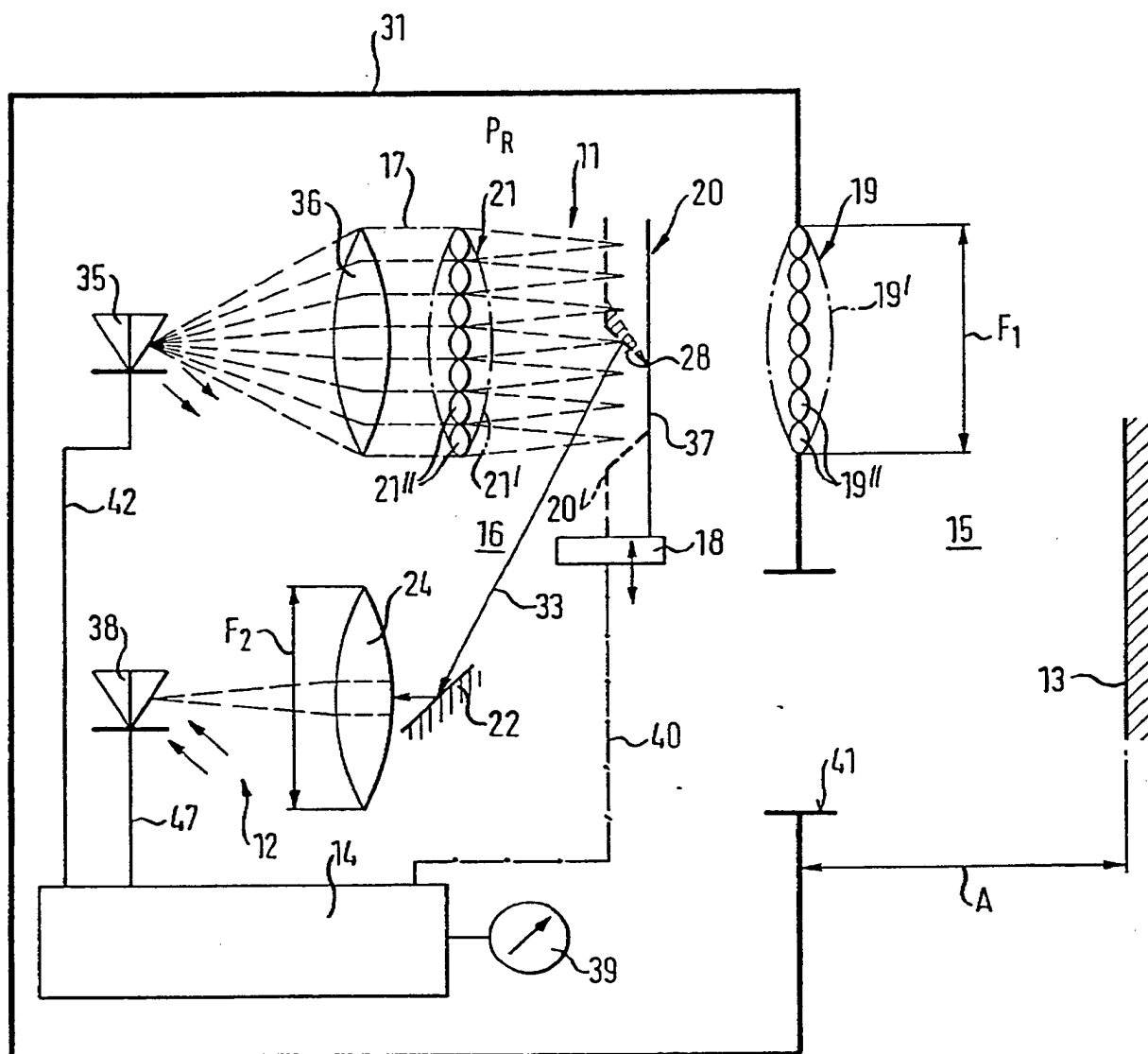
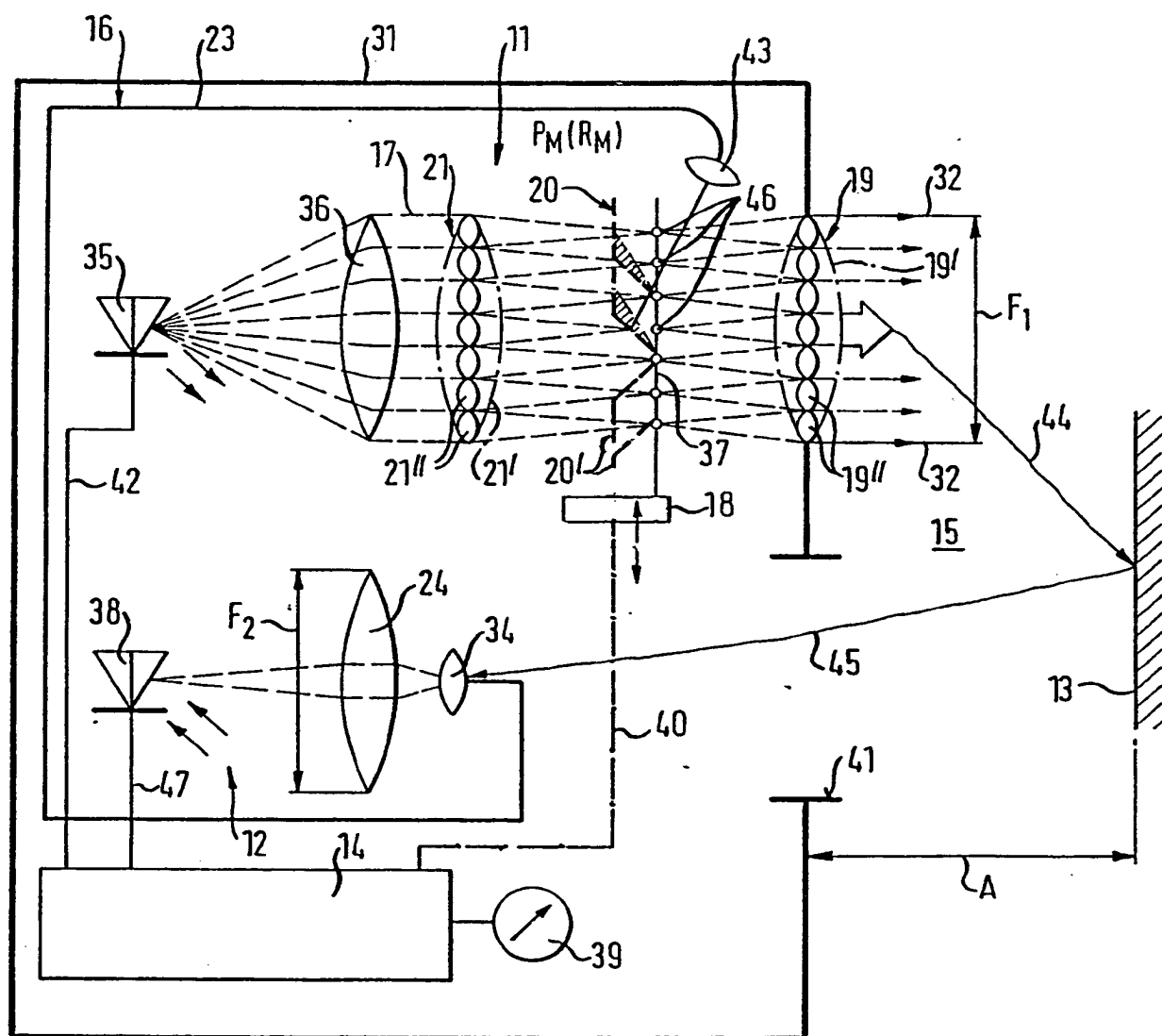


FIG. 3



**602 049/281**

